

Effekt av olika kvävegödselmedel på utvecklingen av klumprotsjuka i salladskål (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis*)

*Effect of fertilization with different nitrogen fertilizers on
clubroot development in Chinese cabbage (*Brassica rapa*
ssp. *pekinensis*)*

Mikael Nilsson



Kandidatuppsats i biologi
Agronomprogrammet – inriktning mark/växt

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för mark och miljö

Mikael Nilsson

Effekt av olika kvävegödselmedel på utvecklingen av klumprotsjuka i salladskål (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis*)
Effect of fertilization with different nitrogen fertilizers on clubroot development in Chinese cabbage (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis*)

Handledare: Anders Jonsson, institutionen för mark och miljö, SLU
Biträdande handledare: Katarzyna Marzec-Schmidt, institutionen för mark och miljö, SLU
Examinator: Ann-Charlotte Wallenhammar, institutionen för mark och miljö, SLU

EX0689, Självständigt arbete i biologi – kandidatarbete, 15 hp, Grundnivå, G2E
Agronomprogrammet – inriktning mark/växt 270 hp

Serienamn: Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU
2014:07

Uppsala 2014

Nyckelord: klumprotsjuka, kväve, nitrat, ammoniumnitrat, urea, pH

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Omslag: Salladskål i odlingsförsök, foto författaren, 2013.

Abstract

The price trend on rapeseed the latest years has led to an increasing interest to grow the crop among many farmers in Sweden. The price trend has resulted in more than a doubling of the oilseed area since the early 2000s. For many farmers it is an advantage to increase cultivation of rapeseed because of the high proportion of cereals in the crop rotation on many farms, but it is not just benefits. The risk of the fields being infected by clubroot increases within frequent rapeseed cultivation and it often leads to substantial economic losses. Clubroot is caused by *Plasmodiophora brassicae* that is a soilborne pathogen in genus Protozoa and its resting spores can be found in the soil for up to 18 years. To avoid increase of the amount of resting spores the cultivation of rapeseed must cease until the risk of being affected by the disease is over. Resistant cultivars are available but despite resistance they increase the amount of resting spores.

Previous experiments and studies have clearly shown that the pH value plays a role in how the disease of clubroot develops. It is also known that fertilization with nitrogen, such as nitrate and ammonium, affect the pH in various directions. The aim of this study was to investigate if nitrogen fertilization can affect the development of clubroot. An experiment was performed that lasted ten weeks as Chinese cabbage was grown in pots in a growth chamber. Two different levels of spores concentration (1000 spores per gram soil and 35 000 spores per gram soil) and three different nitrogen fertilizers, calcium tetrahydrate, ammoniumnitrate and urea were compared in two different levels corresponding 60 N kg/ha and 120 N kg/ha with an unfertilized control.

It is considered that there is no way to fight the pathogen but the results in this experiment indicate that fertilization reduces the percentage of diseased plants in an initially infected soil. Nitrogen fertilization has reduced disease index in five of six tests and urea proved to have a good effect. The amount of nitrogen has been more important than the choice of nitrogen fertilizer. The positive effects of nitrogen fertilization motivates high levels of nitrogen in an early stage when rapeseed plants are susceptible to clubroot infection. The results need to be repeated under field conditions in order to draw clear conclusions.

Sammanfattning

De senaste årens pristrend på rapsfrö har medfört ett ökat intresse för rapsodling bland många lantbrukare i Sverige. En ökad rapsodling är i en del fall bra för att minska den höga andel spannmål som odlas på många gårdar. Risken att drabbas av klumprotsjuka ökar däremot i växtföljder med ofta återkommande rapsgrödor och detta leder många gånger till stora ekonomiska förluster. Klumprotsjuka orsakas av *Plasmodiophora brassicae* som är en jordburen patogen och dess vilsporer kan finnas i marken i cirka 18 år. Det gör att rapsodling måste upphöra under denna tid för att inte ytterligare uppföröka sjukdomen. Resistent sorter finns men trots att de inte själva hämmas av patogenen ökar mängden vilsporer i marken. De är därför endast lämpliga att använda vid låga infektionsnivåer.

I tidigare försök och studier har det tydligt visat sig att pH-värdet spelar roll för utvecklingen av klumprotsjuka. Samtidigt finns vetskapen om att gödsling med kväve som t.ex. nitrat och ammonium påverkar pH-värdet i marken. För att undersöka om kvävegödsling kan påverka utvecklingen av klumprotsjuka gjordes ett försök som redovisas i detta arbete. I tio veckor odlades salladskål i krukor i klimatkammare. Två olika infektionsnivåer av sporer (ca 1000 och ca 35 000 sporer per gram jord) jämfördes med kontroll och tre gödselmedel (kalciumnitrat tetrahydrat, ammoniumnitrat och urea) jämfördes i två olika nivåer motsvarande 60 N kg/ha och 120 N kg/ha med ogödslad kontroll.

Det anses inte finnas någon bekämpning mot patogenen men resultaten i detta försök visar att kvävegödsling minskar andelen infekterade plantor i en från början infekterad jord. Kvävetillförsel har sänkt sjukdomsindex i fem av sex försöksled och kvävegivan har haft större betydelse än valet av gödselmedel. Den observerade effekten av kvävegödsling skulle kunna motivera en hög kvävegiva till raps i tidigt stadium då rapsen är särskilt mottaglig för klumprotsjuka. Resultaten behöver upprepas under fältförhållanden för att kunna dra några klara slutsatser.

<i>Innehållsförteckning</i>	<i>Sida</i>
1. Inledning	6
1.2 Bakgrund	6
1.2 Klumprotsjuka	7
1.3 Kvävegödsling raps	8
1.4 Kvävegödselmedlets betydelse för sjukdomen	9
1.5 Hypotes till försöket	11
2. Material och metod	11
2.1 Infektera jorden med sporer	12
2.2 Kvävegödselmedel	13
2.3 Mätning av pH och ledningstal	14
2.4 Sådd av salladskål	15
2.5 Gradering av klumprotsjuka	16
2.6 Statistisk bearbetning	16
3. Resultat	17
3.1 Gradering av klumprotsjuka	17
3.2 pH i jorden	20
3.3 pH i jord i vattensuspension	21
3.4 pH i jord i vattensuspension med tillsättning av nitrat	22
3.5 Ledningstal	22
4. Diskussion	25
4.1 Andra förebyggande åtgärder mot klumprotsjuka	27
5. Slutord	28
6. Referenser	29

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I Sverige odlas ca 110 000 hektar raps och rybs i både vår- och höstform. Det är mer än en fördubbling sedan början av 2000-talet (Svensk raps, 2013) och idag är oljeväxter en självklar del av växtodlingen på många gårdar i landet. Raps har störst skördepotential men höstrapsen begränsas av övervintringsförmågan och därför är vårraps och höstrybs vanligare i Mellansverige. Höstrybs har bättre övervintringsförmåga än höstraps på grund av lägre tillväxtpunkt (Larsson, 2004).

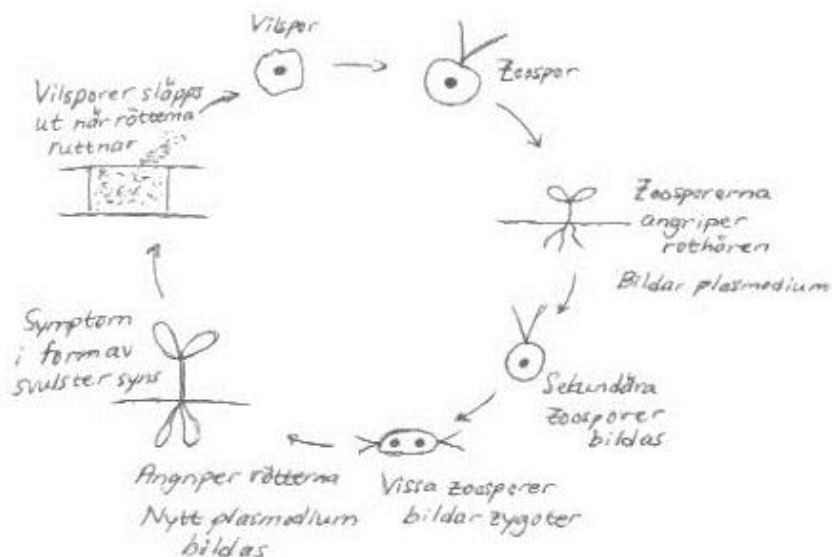
I många spannmålsdominerade växtföljder finns behovet av en avbrottsgröda och med tanke på prisutvecklingen de senaste åren på rapsfrö, har det även blivit en ekonomiskt viktig gröda. Intresset för att få in mer raps i växtföljden gör att risken för patogener som klumprotsjuka ökar och behovet av kunskap för att förhindra angrepp blir större. I dagsläget finns det ingen bra åtgärd för att bekämpa klumprotsjuka när symptom uppstått utan det handlar främst om förebyggande åtgärder. Vid angrepp tvingas lantbrukaren ofta till att sluta odla raps där sjukdomen uppstått men vill man trots infektion i marken odla raps så finns det idag resistent sorter på marknaden. Nackdelen med dem är att de ofta avkastar mindre än övriga sorter och att patogenen uppförökas i marken (Wallenhammar, 2012).

Det här arbetet är en del av forskningsprogrammet BioSoM (www.SLU.se/mark/biosom, 2013) på Sveriges lantbruksuniversitet som bland annat arbetar med att utveckla markkartering för jordburna sjukdomar och att hitta metoder för att minska förekomsten av desamma. Förebyggande åtgärder mot patogenen är viktiga och studier har gjorts om hur markens egenskaper påverkar utvecklingen av klumprotsjuka t.ex. pH, jordart och mullhalt. Däremot är kunskaperna små om hur kvävetillgången och hur den form växterna tar upp kvävet påverkar utvecklingen av klumprotsjuka. Frågan är om mängden kväve och val av gödselmedel påverkar sjukdomsutvecklingen. I så fall kan det vara en del av de åtgärder som vidtas för att förhindra angrepp.

1.2 Klumprotsjuka

Klumprotsjuka orsakas av patogenen *Plasmodiophora brassicae* som är en svampliknande organism tillhörande riket Protozoa (Hirai, 2006). Den är strikt jordbunden och en obligat parasit vilket innebär att den behöver en värdväxt för att kunna föröka sig. Den kan ligga i marken i upp till 18 år som vilande spor (Wallenhammar, 1996). Ekonomiskt sett är det den mest betydelsefulla sjukdomen på korsblommiga växter såsom raps *Brassica napus* och rybs *Brassica rapa* (Wallenhammar et al, 2012).

Klumprotsjuka har två stadier s.k. rothårsstadie och klumprotstadie (Wallenhammar 1996). En zoospor utvecklas från en vilande spor i marken och angriper rothåren på växten i rothårsstadiet. Där utvecklas zoosporen till ett plasmodium som efter några dagar delar sig till flera enheter och så småningom övergår de till att bli zoosporangium innehållande fyra till åtta sekundära zoosporer (Agrios, 2005). En del av de sekundära zoosporerna kommer ut i marken och smälter ihop till ett par zygoter som kan infektera nya plantor. Zoosporerna förflyttar sig från rothåren till rotens epidermis och cortexceller där det bildas nytt plasmodium vilket är början på klumprotstadiet. Rotcellerna stimuleras till att växa och dela sig onormalt fort samt att vilosporer bildas i plasmodiet. Den onormala celltillväxten är synlig redan efter tre till fyra veckor och när växten så småningom dör och ruttnar så sprids vilosporerna ut i marken. (Wallenhammar, 1996).



Figur 1. Livscykeln för klumprotsjuka. Illustratör Mikael Nilsson, 2013.

Symptom som syns på de ovanjordiska delarna av plantan är slokande blad under varma dagar. Plantorna kan sedan återhämta sig under natten (Wallenhammar, 1996). En tumregel är att skördeförlusterna är ungefär hälften så stora som antalet infekterade plantor d.v.s är fältet 100 % infekterat av klumprotsjuka blir skördeförlusterna ca 50 % (Canola council of Canada, 2013). Detta visades också i ett vårrapsförsök med naturlig smitta. Skördereduceringen blev då 1600 kg/ha (50 %) vid 90 % angripna plantor och 300 kg/ha (10 %) vid en angreppsnivå på ca 20 % (Wallenhammar, 1998). Mätmetoden för klumprotsjuka har en detektionsgräns på ca 1300 DNA kopior/gram jord från *P. brassicae* (motsvarar ca 1000 sporer). Så även om jordproverna visar att marken är frisk så kan en liten infektion aldrig uteslutas. I Sverige anses idag att det finns risk för en skördeförlust på <10 % om infektionsnivån är ca 50 000 DNA kopior/gram jord. Vill lantbrukare trots infektion odla raps på sin mark anses idag en så kallad resistent sort vara värd att odla vid infektionsnivåer upp till ca 325 000 DNA kopior/gram jord (ca 130 000 sporer/gram jord) (Wallenhammar et al, 2012). Är infektionsnivån högre blir uppförökningen av klumprotsporer så stor att kommande rapsgrödor tar avsevärd skada. (Wallenhammar et al, 2000).

1.3 Kvävegödsling raps

När man väljer att odla höstraps gäller det att välja en gödslingsstrategi redan på hösten i samband med sådd tillskillnad från höstsäd som inte gödslas på hösten. Skördeökningen av kvävegödsling på hösten i höstsäd är inte lika stor som i höstraps. Höstraps utnyttjar mer kväve och det är lönsamt att gödsla med 60-70 kg kväve redan på hösten. Jordbruksverket tillåter en höstgiva på max 60 kg (Gunnarsson, 2011). Givan bör justeras beroende på förfrukt och rapspris. Försök har visat att den optimala kvävegivan för höstraps är 60 kg kväve på hösten och 120-160 kg kväve på våren beroende på skördepotential (Jordbruksverket, 2013). Kvävet sprids på våren i antingen en eller två givor beroende på hur beståndet ser ut. Rekommendationerna är att vid tidig kvävegiva inte ha mer än 50% nitratkväve d.v.s. större delen ammoniumkväve eftersom kombinationen tidig vår och nitrat ger risk för förluster i form av utlakning. Raps tar upp kväve både i form av ammonium och nitrat och det är viktigt att kvävet finns tillgängligt vid stjälksträckningen. Ju närmre andragivan läggs plantornas stjälksträckning, desto större andel nitratkväve bör läggas (Yngveson, 2001). Nitrat är mer lätttröligt i marken än ammonium och kommer därför rapsen till godo snabbare. Detta beror på att markpartiklarna

har permanenta minusladdningar som nitrat inte binder till men som de positivt laddade ammoniumjonerna kan binda till. Det finns även variabla laddningar som beror på pH-värdet i marken men den stora andelen minusladdade markpartiklar är orsaken till risken för utlakning av nitrat (Eriksson et al, 2011). Ammonium har större benägenhet att adsorberas i markytan och behöver därför regn för att komma ner i profilen vid övergödsling. För nitrat räcker det med ett litet regn för att komma ner i profilen eftersom det inte adsorberas (Persson, 2003).

Gödslingsrekommendationerna för vårraps ligger lägre beroende på att skördarna är mindre än för höstraps. Därför är gödslingsrekommendationerna 105-135 N kg/ha beroende på skördepotential (Jordbruksverket, 2013). I vårraps finns det också olika gödslingsstrategier. Ett sätt är att lägga hela kvävegivan i samband med sådd alternativt en delad giva. Då läggs första givan vid sådd och resterande vid begynnande knoppstadium men försök har visat att delad giva inte ger någon meravkastning (Anderson, 2001).

1.4 Kvävegödselmedlets betydelse för sjukdomen

Tidigare forskning på området visar att pH-värdet i jorden är en faktor som kan påverka utvecklingen av klumprotsjuka. Jordar med lågt pH har generellt större risk att drabbas av patogenen (Dixon, 2009) jämfört med jordar med högt pH, men även dessa kan drabbas (Karling, 1942). Gödsling med kväve kan ha en indirekt påverkan på klumprotsjuka genom att pH-värdet i jorden påverkas. I tidigare försök med gödsling av både nitrat och ammonium har det visat sig att ammonium har en försurande effekt liksom nitrat när det tillsätts i låga doser (Gijsman, 1990). Höga gödselgivor av nitrat har däremot en alkalisk effekt. Anledningen till att nitrat bidrar till ett lägre pH vid låga doser kan bero på att växten då även har möjlighet att ta upp ammonium (Gijsman, 1990). Påverkan av pH-värdet beror på att nitratjonerna byts ut mot hydroxidjoner eller vätekarbonatjoner när de tas upp av rötterna, medan ammoniumjonerna byts ut mot vätejoner för att behålla laddningsbalansen (Flodman, 2002). De olika processer som kvävejonerna går igenom i marken påverkar pH och dit hör även nitrifikation som omvandlar ammonium till nitrat och som verkar försurande i marken p.g.a. frigörandet av vätejoner (Elvingson & Ågren, 1998). Hastigheten för nitrifikation är beroende av miljöfaktorer som t.ex. pH, marktemperatur och fuktighet i marken (Sanfridsson, 2005). Det finns alltså två effekter av kvävegödsling på pH-värdet i marken. Den första sker i

markvätskan direkt efter gödsling och den andra är effekten av växternas upptag och är en mer långsiktig effekt.

För att förebygga problem med klumprotsjuka är det viktigt att arbeta för ett högt pH-värde i områden där grödor som raps, rybs och andra kålväxter förekommer ofta i växtföljden. Tidigare erfarenheter visar att ett högt pH-värde missgynnar sjukdomsutvecklingen (Narisawa et al, 2005). Sjukdomen har kunnat hållas tillbaka i kålodlingar när kalk tillförts (Murakami et al, 2002). Kalkning är ett sätt att erhålla högt pH men kvävegödslingens effekt är avsevärd. Gödselmedel med god kalkverkan är t.ex. kalcium cyanamid som har en kalkeffekt motsvarande ca 150 kg CaO per 100 kg kväve och kalciumnitrat som har en kalkeffekt motsvarande ca 70 kg CaO per 100 kg kväve. Detta kan jämföras med starkt försurande medel som ammoniumsulfat som har en negativ kalkverkan motsvarande ca 300 kg CaO per 100 kg kväve (Dixon, 2010). Ammoniumnitrat har en försurande effekt motsvarande 100 kg CaO per 100 kg kväve (Jordbruksverket, 2009). Negativ kalkverkan betyder att det behövs motsvarande mängd CaO för att behålla det ursprungliga pH-värdet.

Kalcium cyanamid kallas som handelsvara för kalkkväve. Denna produkt har förutom sin pH-höjande effekt även visat sig hämma patogenens sporer och används därför som sanerande medel i intensiva odlingssystem av t.ex. kål och blomkål (Klasse, 1996). Naiki och Dixon visade 1987 i laboratorieexperiment att det är sporer som påverkas eftersom kalkkvävet hade bra effekt om det tillfördes tidigt jämfört med om det tillfördes till andra utvecklingsstadiet av patogenen då effekten uteblev. Nackdelarna med kalkkväve är en långsam kväveverkan och risken för brännskador (Carlgren, 1991).

I Sverige används framför allt med ammonium- och nitratkväve och tillskillnad från många andra länder är användningen av urea inte alls så förekommande trots att produkten globalt sett står för 50% av marknaden (Wang et al. 2012). Den stora nackdelen med urea är risken för förluster i form av ammoniakavgång till luften vid spridning (Greppa näringen, 2011), vilket sker när urean bryts ner av enzymet ureas till ammoniak och koldioxid. I utlakningsförsök har det visat sig att urea rör sig långsammare än nitrat och det beror mycket på att den snabbt hydrolyseras till ammonium i marken och därefter spjälkas till ammoniak och koldioxid (Broadbent et al, 1958). pH-värdet i marken styr jämvikten mellan ammoniak och ammonium men markförhållandena avgör om kvävet genom nitrifikation övergår till nitrat (Huber et al, 2007). Urea är försurande och har en negativ kalkverkan motsvarande ca 100 kg CaO per 100 kg N (Nömmik, 1966).

1.5 Hypotes till försöket

Syftet med odlingsförsöket var att studera hur gödsling med olika gödselmedel och kvävenivåer påverkar utvecklingen av klumprotsjuka hos salladskål (*Brassica rapa ssp. pekinensis*) odlad i infekterad jord. Hypotesen är att gödslingen påverkar pH-värdet som påverkar utvecklingen av *P. brassicae*. De utvalda gödselmedlen påverkar pH-värdet i jorden på olika sätt och kalciumnitrat tros höja värdet medan urea och ammoniumnitrat tros ha motsatt effekt. Ledningstalet väntas vara högst efter tillförsel av gödselmedlen och sen avta med tiden eftersom jonerna binds till markpartiklar och rötter.

2 Material och metod

Salladskål (*Brassica rapa ssp. pekinensis*) såddes i krukor som gödslades med olika gödselmedel i mängder motsvarande 60 N kg/ha och 120 N kg/ha som jämfördes med en ogödslad kontroll (tabell 1). Gödslingsnivåerna valdes utifrån rekommenderad gödsling till vårraps som ligger runt 120 N kg/ha beroende på skördepotential. Försöket pågick under 10 veckor från februari till april 2013.

Kvävet tillsattes till jord med olika nivåer av infektion. Tre nivåer valdes där en fick vara kontroll utan infektion, en med infektionsnivå 1000 sporer per gram jord och en hög med 35 000 sporer per gram jord. Infektionsnivåerna kan vara högre, ända upp till 100-200 miljoner sporer per gram jord (Wallenhammar, 2012).

Tabell 1. Försöksupplägg med nivåerna av infektionstryck i form av antalet sporer per gram jord, valda gödselmedel, kvävegivor i kilo kväve per hektar och antal upprepningar (n).

Antal sporer per gram jord	1000 sporer	35 000 sporer	Kontroll oinfekterad
Gödsling	n=	n=	n=
0 kg N	4	8	3
Kalciumnitrat tetrahydrat 60 kg N	4	4	
Ammoniumnitrat 60 kg N	4	4	
Urea 60 kg N	4	4	
Kalciumnitrat tetrahydrat 120 kg N	5	4	
Ammoniumnitrat 120 kg N	5	4	
Urea 120 kg N	5	4	

Plantorna växte i krukor innehållande 500 gram jord och de fick stå i ett rum med kontrollerade klimatfaktorer. I klimatkammaren var temperaturen 21°C och luftfuktigheten ca 40%. Dygnet styrdes med 14 timmars ljus och lamporna var Green Power LED production module deep red/blue (PHILIPS). Vattning gjordes dagligen efter behov med avjonat vatten.

2.1 Infektera jorden med sporer

För att få de önskade spornivåerna i jorden blandades jord utan detekterbart DNA av patogenen med en jord som innehöll DNA motsvarande 850 000 sporer per gram jord. Jorden utan detekterbart DNA kom från Götala utanför Skara, Västergötland. Det är en något mullhaltig lerig sand med pH 5,3, och den infekterade var en något mullhaltig mellanlera med pH 6,2 från Åkerby, strax utanför Örebro. För att få de olika spornivåerna blandades jorden i omgångar i en plastpåse genom att först tillsätta ett kilo frisk jord, därefter den beräknade mängden infekterad jord som skulle blandas i och sedan hälldes frisk jord upp till totalvikten två kilo. För spornivån 1000 sporer blandades 0,6 gram infekterad jord och för den höga användes 6 gram jord. Blandningen av jorden gjordes genom att skaka påsen och sedan

togs ett prov av jorden för analys. För att mäta hur väl jorden blandats, gjordes PCR-analys enligt Wallenhammar et al. (2012) av alla blandningar.

2.2 Kvävegödselmedel

De olika gödselmedlen innehåller olika mängd kväve, och en procentsats togs fram för att kunna beräkna storlek av tillsats i krukorna. Procentsatsen kan liknas vid den siffra som står angivet på mineralgödselmedelssäckarna t.ex. N27 eller N34 som är vanliga inom jordbruket.

Tabell 2. Procentandel kväve i de använda gödselmedlen.

Kvävegödselmedel	Molmassa (g/mol)	Kväve (%)
Kalciumnitrat tetrahydrat	236	$28^*/236 = 11,9\%$
Ammoniumnitrat	80	$28^*/80 = 35,0\%$
Urea	60	$28^*/60 = 46,7\%$

* Kvävet i de använda ämnena väger 28 g/mol

För att räkna ut mängden kväve som skulle tillföras varje kruka räknades kvävegivan om från kilo per hektar till gram per 500 gram jord. Volymen jord per hektar räknades ut till 2000 ton givet ett matjordslager på 20 cm. Kvävegivan 120 N kg/ha motsvarar 0,03 g N/kruka.

Tabell 3. Mängd av respektive salt som skulle tillsättas till varje kruka för kvävegiva motsvarande 120 N kg/ha.

Kvävegödselmedel	Salt (motsvarande 120 N kg/ha)
Kalciumnitrat tetrahydrat	$0,03 \text{ g}/11,9\% = 0,25 \text{ g}$
Ammoniumnitrat	$0,03 \text{ g}/35,0\% = 0,09 \text{ g}$
Urea	$0,03 \text{ g}/46,7\% = 0,06 \text{ g}$

För att kunna hantera så små mängder salt gjordes en uppvägning för alla krukor samtidigt. För att enkelt kunna applicera saltet löstes det i vatten motsvarande 20 ml till varje kruka.

Beräkning gjordes som i följande exempel för kalciumnitrat tetrahydrat:

15 krukor * 0,25 g = 3,75 g

15 krukor * 20 ml vatten = 300 ml

Kvävelösning motsvarande 120 N kg/ha

För 60 N kg/ha späddes 100 ml av kvävelösningen med 100 ml vatten.

Detta gav två kvävelösningar med vardera 200 ml där en innehöll kväve motsvarande 120 N kg/ha och den andra kväve motsvarande 60 N kg/ha.

För att få en jämn spridning i jorden tillsattes kvävelösning tillsammans med vatten upp till fältkapaciteten. Fältkapaciteten bestämdes i första krukans till 120 ml och därmed tillsattes först 100 ml vatten och sedan 20 ml av kvävelösningen till varje kruka. Den uppmätta volymen stämde inte i alla krukor och därför rann det i vissa fall ut vatten på uppsamlingsfatet vid starten.

2.3 Mätning av pH och ledningstal

För att studera om eventuella förändringar av pH-värdet skett över tiden mättes pH-värdet och den elektriska konduktiviteten vid tre tillfällen, i samband med sådd, efter halva försökstiden och i slutet av försöksperioden. Samma krukor användes för mätning vid de olika tillfällena och det enda som tillfördes krukorna mellan mätningarna var avjoniserat vatten. Vid mätning av pH användes en pH-meter (modell TES-1380 från TES Electrical Electronic corporation, www.tes.com). En mätning gjordes genom att vattna krukorna till fältkapaciteten och sen mäta direkt i jorden. Första och andra gången gjordes mätningen endast en gång men vid tredje tillfället upprepades mätningen tre gånger. Kalibreringen av pH-metern gjordes med två standardbuffertar motsvarande pH 4 och pH 7.



Figur 2. Mätning av pH och ledningstal i krukorna. Fotograf Mikael Nilsson, 2013.

Ytterligare mätningar av pH-värdet gjordes i slutet av försökstiden då jord togs från krukorna och slammades upp i vatten enligt labmetoder för pH-mätning (Karlton, 1996). Jord togs från samma krukor som i tidigare mätningar. Till proverna användes 10 ml jord och 50 ml avjoniserat vatten som skakades i cirka en timme. Proverna fick sedan stå över natten och innan mätningen skakades de igen i cirka tio sekunder. Mätningarna upprepades två gånger för varje jord.

För att mäta pH-effekterna av nitrat slammades jord upp i vatten och under omrörning tillsattes 40 ml nitratlösning motsvarande 120 N kg/ha. Även i detta försök användes prover med 10 ml jord och 50 ml destillerat vatten. Samma procedur gjordes tre gånger.

Ledningstalet mättes med en konduktivitetsmätare av modell HI 98331 (Hanna instruments, USA, www.hannainst.com) som mäter konduktivitet och temperatur, tillsammans med HI 73331 som är en insticksgivare som sticks ner i jorden. Mätningarna gjordes efter vattning till jordens fältkapacitet. En mätning gjordes i varje kruka vid de två första tillfällena och vid sista tillfället gjordes mätningen tre gånger i varje kruka. Förutom mätning i jorden gjordes också en mätning i de saltlösningar som tillfördes krukorna i början av försöket.

2.4 Sådd av salladskål



I varje kruka såddes nio frön på en centimeters djup och sedan sprayades krukorna med avjonat vatten samt täcktes med plastfolie för att få en bra groningsmiljö. Krukorna gallrades inte och alla frön grodde inte så antalet plantor varierade i krukorna.

Figur 3. Sådd av salladskål i krukorna.
Foto: Mikael Nilsson, 2013.

2.5 Gradering av klumprotsjuka

Graderingen av klumprotsjuka gjordes genom okulär bedömning av symptomen på plantornas rötter. Detta skedde när plantorna var tio veckor gamla. De togs upp ur jorden, tvättades och sedan delades de in i olika klasser beroende på infektionssymptom. Varje planta delades in i en klass 0-5 enligt Wallenhammar (2000). Det gjordes ingen PCR-analys för att säkerställa att svulsterna berodde på *P.brassicae*.

Tabell 4. Plantorna delas in i klasser beroende på symptom på rötterna.

Klass	Symptom
0	Inga synliga svulster
1	Förstorade sidorötter
2	Förstorad huvudrot
3	Förstorad napiform (formad som en rova) huvudrot, sidorötter friska
4	Förstorad "napiform" huvudrot, några sidorötter i infekterade (små svulster)
5	Förstorad (kraftiga svulst) napiform huvudrot, huvuddelen av sidorötter infekterade

Med hjälp av följande formel gjordes de observerade värdena av sjukdomssymptom om till SI (sjukdomsindex).

$$SI = \frac{\sum [(klassnummer) * (antal plantor i varje klass)]}{(totalt antal plantor) * (antal klasser - 1)}$$

En andelsprocent för antalet infekterade plantor beräknades också. Denna procentsats beräknas genom att ta antal infekterade plantor (Klass 1-5) dividerat med totalt antal plantor (Klass 0-5).

2.6 Statistisk bearbetning

Skillnaderna är statistiskt testade med Fishers test som används för att analysera skillnader mellan två oberoende grupper av data (Grandin, 2003).

3 Resultat

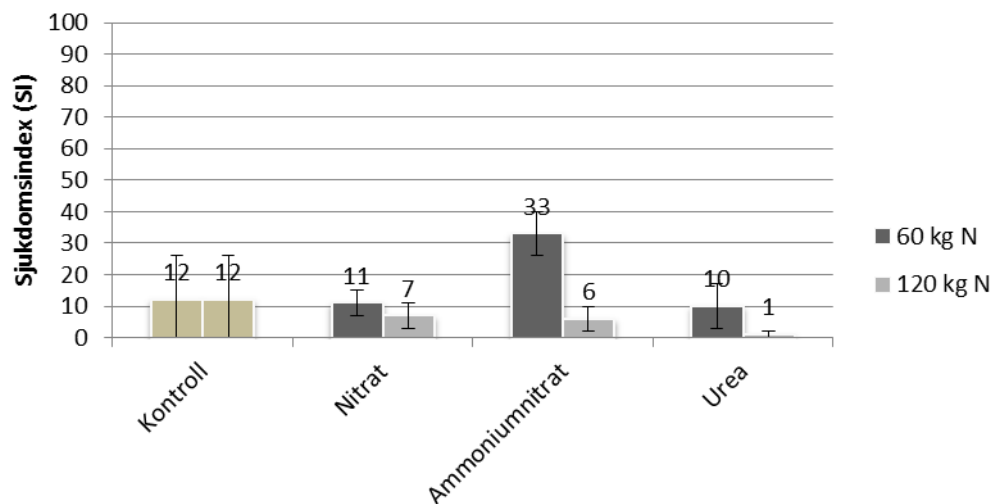
3.1 Gradering klumprotsjuka

Angrepp av klumprotsjuka lästes av efter 10 veckor i odlingskammaren. Resultatet från graderingen redovisas i tabell 5 som sjukdomsindex och procenten infekterade plantor. Sjukdomsindex visas också i figur 1 och 2. Antalet plantor i krukorna varierade mellan tre och nio plantor på grund av att en del plantor ruttnat under försökstiden.

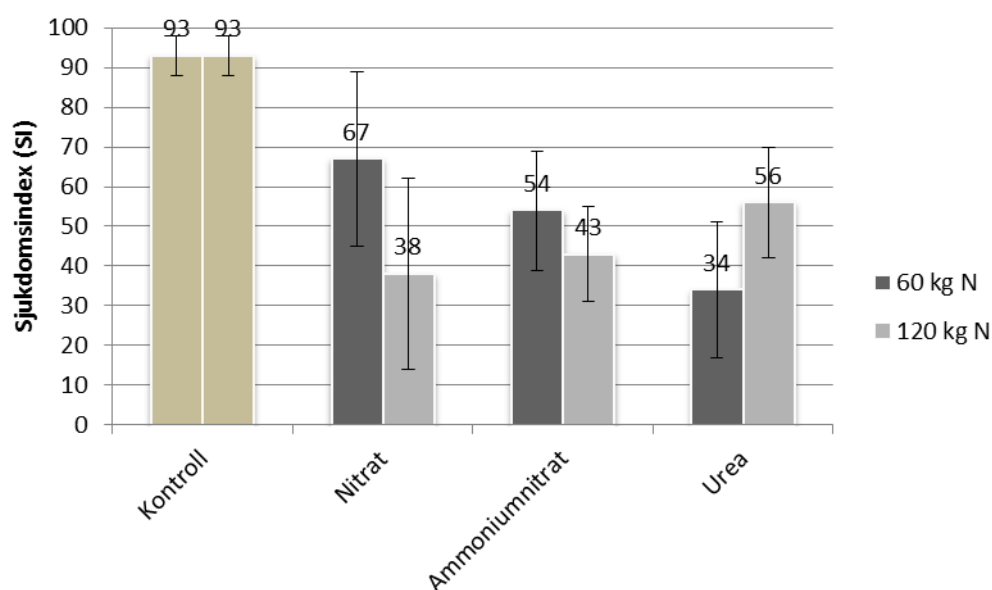
Resultaten från PCR-analysen av jorden visar att inblandningen av sporer inte blev som önskat. I den höga infektionsnivån var mängden sporer i genomsnitt ca 35 000 sporer per gram jord. För den låga infektionsnivån gick det enbart att detektera mängden sporer i två delprov och där var spormängden i genomsnitt ca 1000 sporer per gram jord.

Tabell 5. Graderingen av klumprotsymptom hos plantor odlade i jord med 1000 sporer per gram jord och 35 000 sporer per gram jord av *Plasmodiophora brassicae*. Sjukdomsindex (SI) visar hur stora svulsterna är d.v.s. ett högt värde betyder många plantor i höga klasser. Procent infekterade plantor visar hur många plantor som är infekterade oavsett klass. Gödslingsgivorna är angivna i N kg/ha.

Behandling	Sjukdomsindex (SI)		Procent infekterade plantor	
N kg/ha	1000 sporer/g jord	35 000 sporer/g jord	1000 sporer/g jord	35 000 sporer/g jord
Kontroll	12	93	26	100
Nitrat 60	11	67	56	83
Nitrat 120	7	38	37	62
Ammonium/nitrat 60	33	54	82	100
Ammonium/nitrat 120	6	43	29	69
Urea 60	10	34	21	53
Urea 120	1	56	4	80



Figur 4. Sjukdomsindex av klumprotsjuka på plantor odlade i jord infekterad med 1000 sporer per gram jord. Kontrollen är ej gödslad och övriga är gödslade med motsvarande 60 N kg/ha och 120 N kg/ha av kalciumnitrat, ammoniumnitrat och urea. Medeltal \pm SE.



Figur 5. Sjukdomsindex av klumprotsjuka på plantor odlade i jord infekterad med 35 000 sporer per gram jord. Kontrollen är ej gödslad och övriga är gödslade med motsvarande 60 N kg/ha och 120 N kg/ha av kalciumnitrat, ammoniumnitrat och urea. Medeltal \pm SE.

Alla sjukdomsindex visar att kvävegödsling ger ett lägre sjukdomsangrepp och tydligast effekt visas vid den höga infektionsnivån. Det är endast

gödslingen med urea 60 N kg/ha som skiljer sig signifikant från kontrollen ($P < 0,005$). I den låga infektionsnivån är det endast signifikant skillnad mellan ammoniumnitrat 60 N kg/ha och urea 120 N kg/ha. Det går att skönja en icke statistiskt signifikant trend i resultatet. Det är att sjukdomsindex är lägre än kontroll vid 60 N kg/ha och ännu lägre vid den högre givan. Trenden syns i fem av sex gödslade led både vid den låga och den höga infektionsnivån. Den höga kvävegivan på 120 N kg/ha för nitrat och ammoniumnitrat gav en halvering av sjukdomsindex jämfört med kontrollen. Urea har bäst effekt i den låga infektionsnivån där sjukdomsindex är nära noll.



Figur 6a



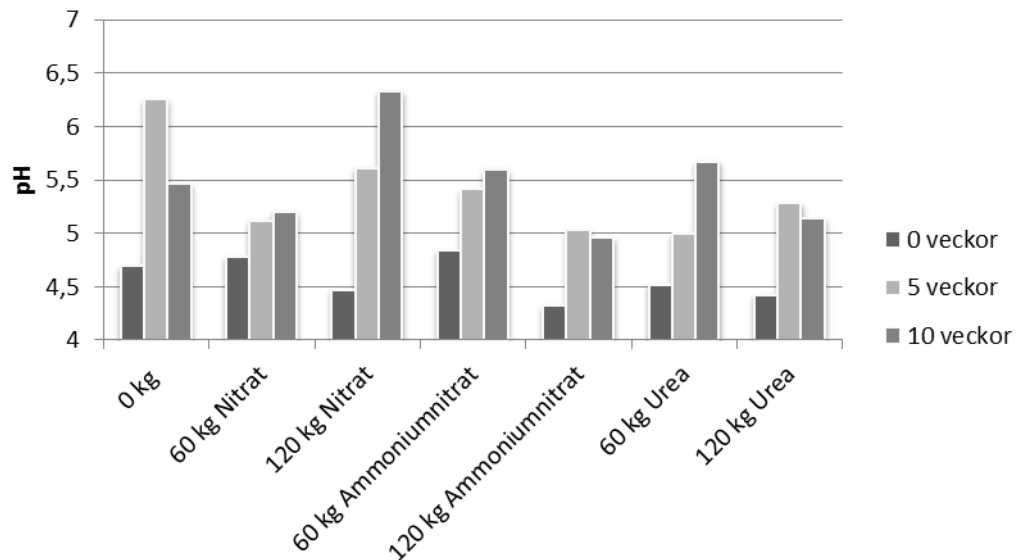
Figur 6b

Figur 6a. Till vänster visas symptom i klass fem vid gödsling med kalciumnitrat, 60 N kg/ha. Spornivån är 35 000 sporer per gram jord. Roten till höger är en rot utan infektion. Foto: Mikael Nilsson 2013.

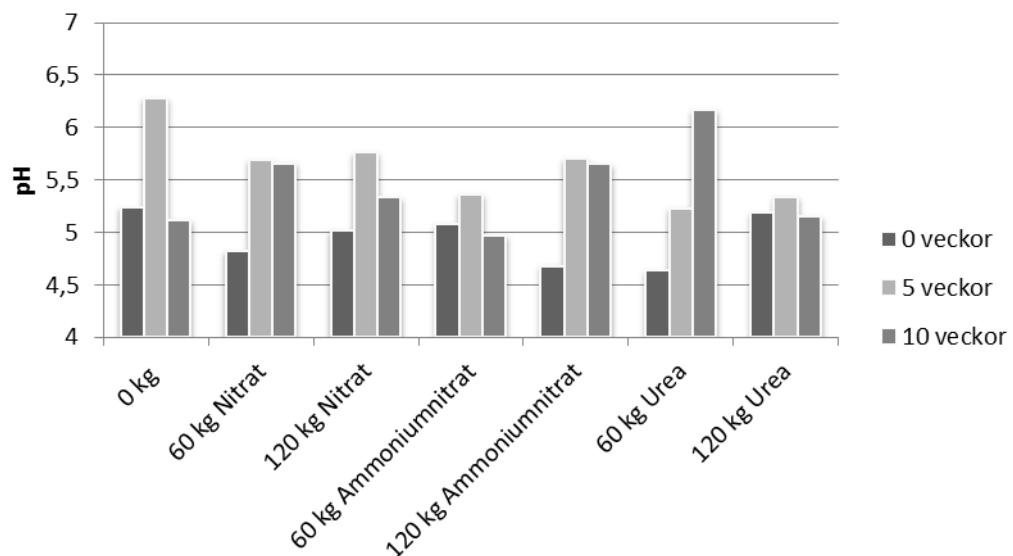
Figur 6b. Symptom på en rot motsvarande klass fem där plantan blivit gödslad med ammoniumnitrat, 60 N kg/ha. Spornivån är 35 000 sporer per gram jord. Roten till höger utan infektion. Foto Mikael Nilsson 2013.

3.2 pH i jorden

Mätningar har gjorts vid tre olika tillfällen. Samma krukor har använts för mätning och det enda som tillförts krukorna mellan mätningarna är avjoniserat vatten.



Figur 7. pH-värdena för de olika gödslingsleden vid infektionstrycket 1000 sporer/g jord. Mätningarna är gjorda med en pH-meter i krukorna efter att de vattnats upp till fältkapaciteten. Staplarna visar mätning vid sådd, efter halva försökstiden och i slutet av försöket. Kvävegivorna anges i N kg/ha.



Figur 8. pH-värdena för de olika gödslingsleden vid infektionstrycket 35 000 sporer/g jord. Mätningarna är gjorda med en pH-meter i krukorna efter vattning upp till fältkapacitet.

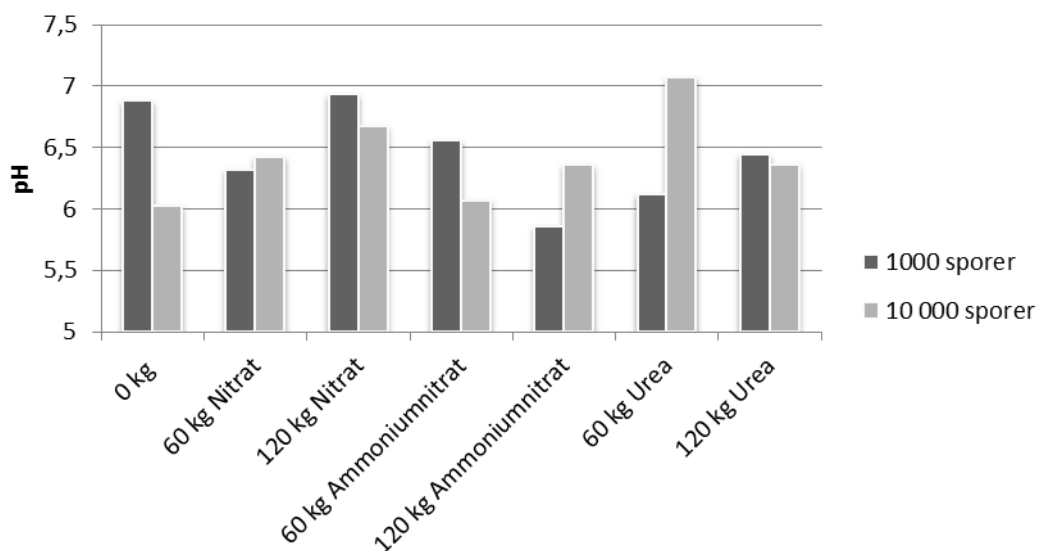
Staplarna visar mätning vid sådd, halva försökstiden och i slutet av försöket. Kvävegivorna anges i N kg/ha.

Resultatet från pH-mätningen i den lågt infekterade jorden visar att pH-värdet höjts med tiden i samtliga krukor. Staplarna för pH-värdet i samband med sådd visar att den högre kvävegivan ger ett lägre pH-värde för samtliga gödselmedel. När det sedan gått en tid kan man se att efter tio veckor är förhållandena samma utom för nitrat. Där har det istället blivit en pH-höjning med den högre kvävegivan.

I gödslingsleden för jorden infekterad med 35 000 sporer per gram jord är trenden för en pH-höjning inte lika tydlig men en höjning har skett över tiden i fyra av sju krukor. I de andra tre krukorna är sänkningen endast marginel. Värdena är generellt sett lite högre i första mätningen jämfört med pH i jorden med lågt infektionstryck.

För att få en statistisk säkerhet i resultatet borde fler mätningar gjorts. Går inte att säga om resultatet är statistiskt signifikant.

3.3 pH i jord i vattensuspension

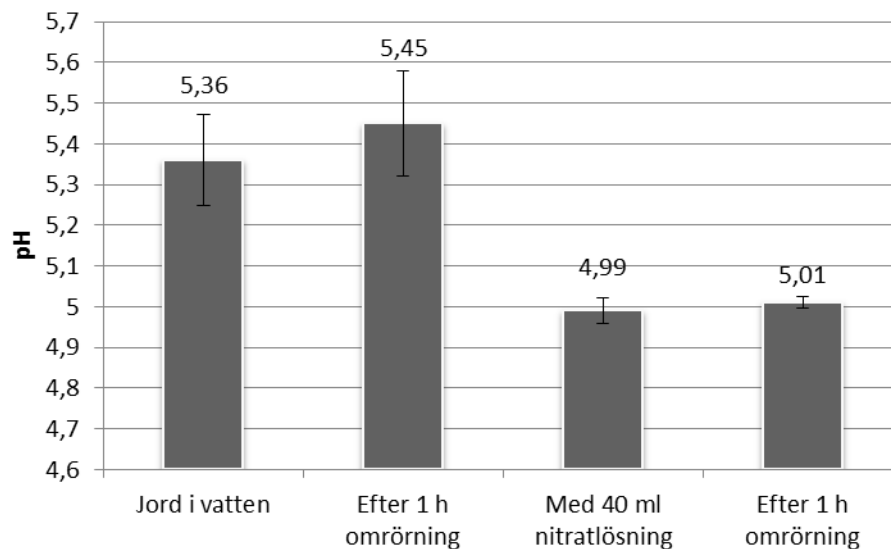


Figur 9. pH i jord som slammats upp i vatten. Jord har tagits från respektive led när plantorna tagits bort och mätningarna är gjorda med en pH-meter. Kvävegivorna är i N kg/ha.

Mätningarna för jord i vattensuspension gjordes endast i slutet av försöket när plantorna dragits upp. Resultaten är varierande och även mätningarna i

det ogödslade ledet varierar stort (ca 0,85 pH-enheter) trots att det endast är spornivån som skiljer mellan behandlingarna.

3.4 pH i jord i vattensuspension med tillsättning av nitrat

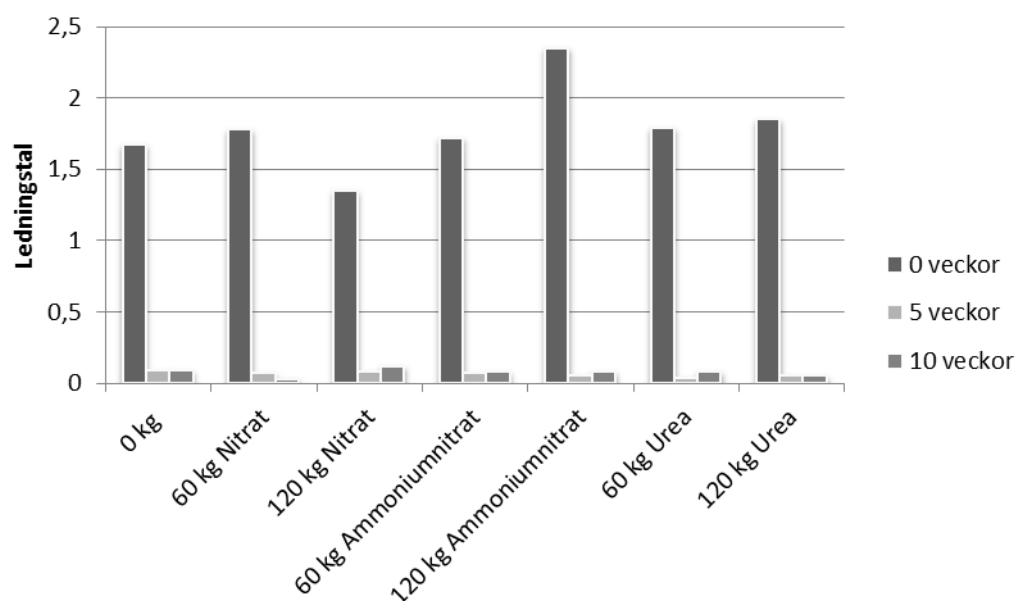


Figur 10. pH-värdets förändring efter tillsatts av nitrat i en uppslammad jord i vatten. Jord i vatten betyder att mätningen gjordes precis efter att jord och vatten blandats i en bägare. Nästa mätning utfördes efter en timmes omrörning och därefter mättes pH när 40 ml nitratlösning tillsatts vilket motsvarar 120 N kg/ha. Sista mätningen gjordes efter ytterligare en timmes omrörning. Mätningarna gjordes tre gånger i oberoende prov.

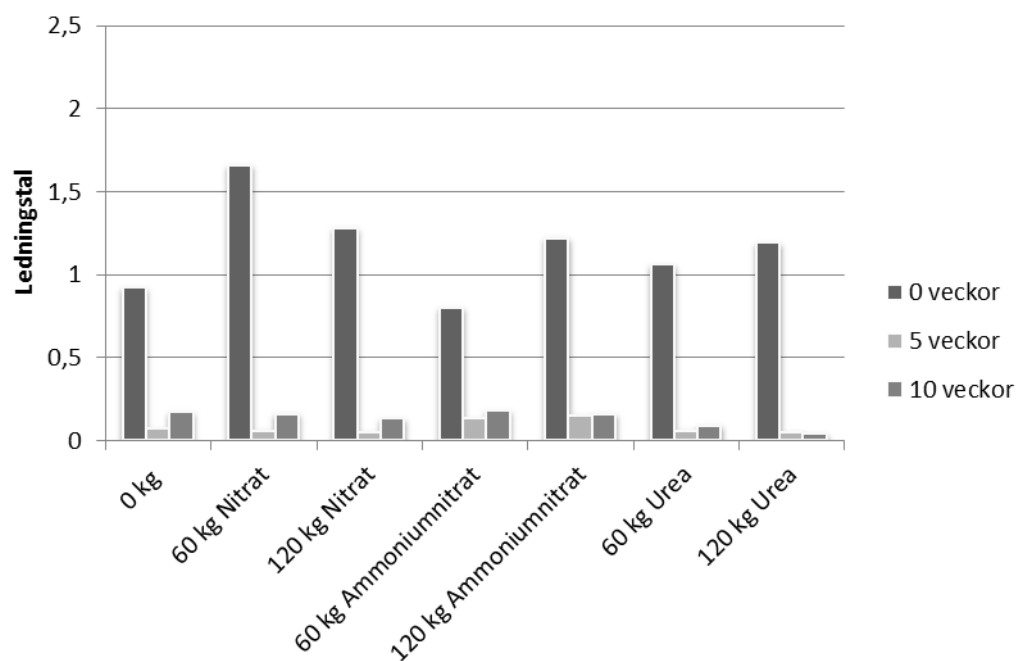
Mätningen visade en klar trend eftersom värdena rör sig likadant i alla tre replikaten. Tillförsel av nitratkväve till suspension av jord ger ett lägre pH. Sänkningen varierar mellan 0,3 och 0,5 pH-enheter.

3.5 Ledningstal

Lendingstalet mättes i jorden för att ge en uppfattning av hur mycket fria joner det finns i jorden och därmed också tillgängligt kväve. Resultaten från mätningarna visas i figur 12-13.



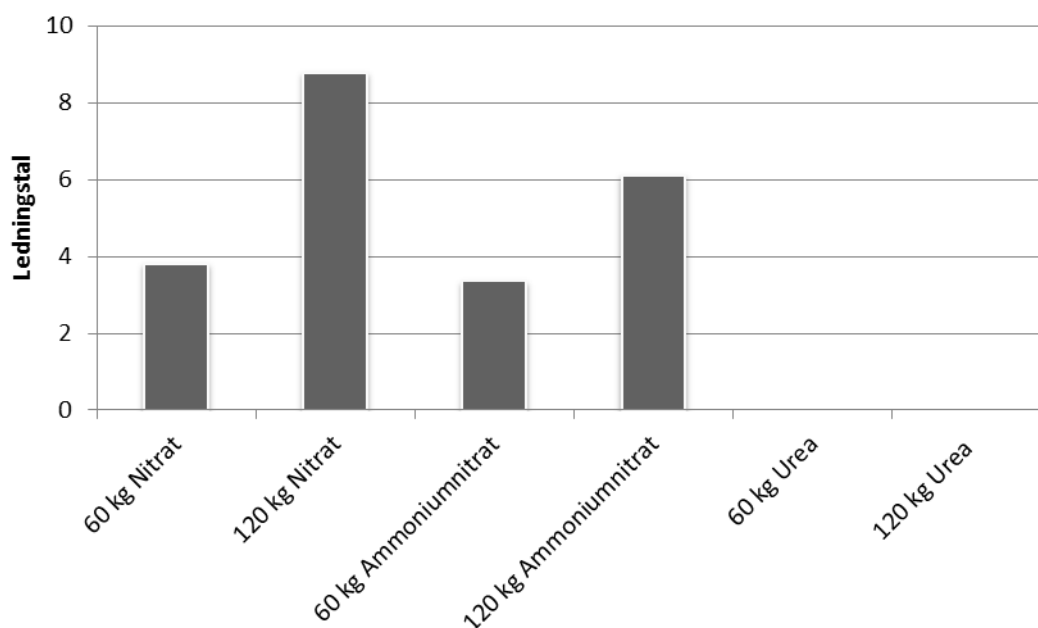
Figur 11. Ledningstalet för de olika gödslingsleden vid infektionstrycket 1000 sporer/g jord. Staplarna visar mätning vid sådd, halva försökstiden och i slutet av försöksperioden. Kvävegivorna är i N kg/ha.



Figur 12. Ledningstalet för de olika gödslingsleden vid infektionstrycket 35 000 sporer/g jord. Staplarna visar mätning vid sådd, halva försökstiden och i slutet av försöket. Kvävegivorna är i N kg/ha.

Ledningstalet är enligt mätningarna som störst precis efter tillförsel av kvävet och sjunker sedan kraftigt. Efter några veckor är det nere på låga

nivåer. Anmärkningsvärt är att det inte skiljer sig speciellt mycket mellan den låga och den höga gödslingsnivån. Det är till och med så att ledningstalet är lägre för nitrat i ledet med 120 N kg/ha jämfört med 60 N kg/ha. För några mätningar är nivån också lägre än vad det är i det ogödslade ledet. I det ogödslade ledet skiljer det över en halv enhet mellan krukorna i de olika spornivåerna. Generellt sett är ledningstalet lägre i den höga spornivån på 35 000 sporer. Går inte att bedöma om resultatet är statistiskt signifikant på grund av för få mätvärden.



Figur 13. Ledningstalet mättes i de saltlösningar som tillsatts krukorna. Mätningarna gjordes i början av försöket i samband med sådden.

Mätningarna av ledningstalet i saltlösningarna visar att det är mer salt i den högre gödslingsnivån. Urea visar inget ledningstal eftersom det till skillnad från de andra gödselmedlen är en organisk förening.

4 Diskussion

Resultaten från graderingen av rötterna visade att den låga infektionsnivån gav mindre sjukdomsangrepp jämfört med den höga infektionsnivån (tabell 5) precis som Macfarlane (1958) visade i sina studier. Variationen i antalet sporer i krukorna gör det osäkert att säkert bedöma effekterna av respektive gödselmedel. Det var svårt att få en jämn inblandning när endast några gram infekterad jord blandas med två kilo infekterad jord. Det krävs större noggrannhet i kommande försök och blandning med en cementblandare eller färgskak är att rekommendera. Trots variationen inom de olika infektionsnivåerna noterades en möjlig skillnad mellan den låga- och höga infektionsnivån som är intressant i fortsatt analys av kvävet påverkan.

Några klara skillnader mellan de olika kvävegödselmedlen var svårt att urskilja men tillförsel av urea gav ett lågt sjukdomsindex. En svaghet i försöket är att kväve kan ha runnit ur jorden vid vattning. Det påverkar resultatet av gödslingen och det har visat sig i försök att kraftig nederbörd efter kvävegödsling på en sandjord ökar risken för kväveutlakning (Linnér, 1978).

I ett arbete visade Webster och Dixon (1991) att pH-värdet och tillförsel av kalcium påverkar utvecklingen av klumprotsjuka. Hypotesen till detta projekt var att ammoniumnitrat och urea skulle sänka pH-värdet medan nitrat skulle höja detsamma på grund av de mekanismer som sker vid rötternas upptag av joner (Flodman, 2002). Tyvärr går det inte att avgöra av resultatet från pH-mätningarna att så skulle vara fallet (figur 8-9). Mätningen gjordes med pH-meter direkt i jorden efter att den vattenmättats upp till fältkapacitet, och resultaten vid de olika spornivåerna visade att ett och samma gödselmedel haft olika effekter i krukorna. Vid den lägre infektionsnivån har nitrat efter tio veckor en förväntad pH-höjande effekt eftersom den högre kvävegivan gett ett högre pH jämfört med den lägre kvävegivan. Ammoniumnitrat hade också den förväntade effekten eftersom den högre kvävegivan sänkt pH mer än den låga kvävegivan. Däremot var effekterna de omvända vid den högre infektionsnivån där nitrat och ammoniumnitrat tillsatts. Urea hade samma effekt i de båda infektionsnivåerna och pH sänktes av en högre ureagiva. Generellt varierade resultaten från varje kruka mycket över tiden. Fler mätningar borde gjorts i respektive kruka för att statistiskt kunna bedöma resultatet. Med endast en mätning i varje kruka går det enbart att bedöma tendenser. Att ha fler mätvärden är en viktig sak att tänka på till kommande experiment.

Mätning av pH gjordes även i jord som slammats upp i vatten (figur 11) eftersom det är en mer standardiserad metod (Karlton, 1996). Det mest anmärkningsvärda i dessa resultat är den stora skillnaden i pH mellan de båda kontrollerna vars jord är från samma plats. Skillnaden är nästan en pH-enhet. I båda infektionsnivåerna är resultatet att pH höjdes av en nitratgödsling. För ammoniumnitrat och urea var effekterna olika beroende på infektionsnivå och därmed går det inte att säkert säga hur gödslingen påverkar pH. Det är däremot viktigt att skilja på den direkta pH-effekten av gödsling och den sekundära som sker när jonerna binds till markpartiklar och när växterna tar upp näring (Eriksson et al, 2011). Även infektionsnivån spelar roll för plantornas förmåga att ta upp näringsämnen eftersom de klubbliknande rötterna försämrar upptaget (Stewart, 2008). Den sekundära effekten av gödslingen kan därför haft mindre påverkan i leden med hög infektionsnivå där rötterna är som mest infekterade. I själva mätmetoden finns det också olika faktorer som kan påverka resultatet. En är kvoten jord i förhållande till vatten eftersom vatten späder ut aciditeten i provet. Det kan förklara att värdena generellt var högre i denna mätning än vid mätning direkt i kruken. Effekten av kvoten är störst i dåligt buffrade jordar. Jordar med låg buffertkapacitet är de med lite organiskt material (Karlton, 1996). Mullhalten i jorden från Götala är något mullhaltig (2-3 % mull) så en viss effekt av detta kan säkert finnas. En annan orsak kan vara den s.k. suspensionseffekten (Karlton, 1996). Det betyder att pH kan variera beroende på om man mäter i en klar vätska d.v.s. all jord har sedimenterat eller om det fortfarande är uppslammat. I detta försök skakades suspensionerna av jord i cirka en timme och sen fick proverna stå över natten. Nästa dag skakades de lätt innan mätning. Problemet som dök upp under mätningen var att det tog lång tid innan värdet hade stabiliserat sig. Värdet anses stabilt när värdet inte ändrar sig mer än 0,02 enheter på 10 sekunder (Karlton, 1996). Mätaren kalibrerades innan mätning men en orsak till den långsamma mätningen kan vara att den behövdes rengöras. Detta visar hur viktigt det är att arbetet görs utifrån en viss metod så resultaten kan jämföras med andra.

För att undersöka hur tillsatsen av kalciumnitrat momentant påverkar pH i jord gjordes en extra pH-mätning där kalciumnitratet tillfördes uppslammat jord i en bägare (figur 11). Resultaten från mätningen visar att nitrat sänkte pH i samband med tillförsel. Effekten kan förklaras av att en stor mängd salt sänker pH och ibland så mycket som en pH-enhet (Hardy, 2008). Samma effekt kan väntas med ammoniumnitrat men inte med urea eftersom det är en organisk förening. Saltet har först en försurande effekt men också en basisk sekundär effekt när nitrat binds till markpartiklarna eller tas upp av växterna. Utbytet är sämre i kraftigt angripna rötter (Stewart, 2008). Det

gick också att se i försöket att pH höjs lite efter en timma omrörning. Mängden kväve som tillfördes var väldigt stor eftersom mängden jord var 50 gånger mindre i testet än i krukorna och mängden saltlösning var dubbelt så stor som den till krukorna. En lärdom av detta är att en stor kvävegiva vid ett tillfälle kan sänka pH-värdet kraftigt för en kort period. Är rapsen då i ett känsligt stadium för angrepp av klumprotsjuka kan pH-sänkningen vara avgörande för ett eventuellt sjukdomsangrepp.

Ledningstalet mättes för att kontrollera effekten av kvävetillförseln. Trots att krukorna tillfördes lika mycket kväve varierar resultaten från mätningarna (figur 12-13). Generellt är ledningstalet lägre i krukorna med högt infektionstryck jämfört med det låga infektionstrycket. Gödslingen har utförts på samma sätt i alla krukor och det har varit samma blandning av respektive gödselmedel som tillförts krukorna så det borde inte vara någon skillnad. Ledningstalet mättes direkt i krukorna och inte i jordsuspension. Skillnaderna i resultat mellan första mättillfället och de andra är stora men samtidigt enligt hypotesen eftersom jonerna tas upp av plantorna och binds in i mineralpartiklar och organiskt material i jorden (Eriksson et al, 2011).

Antalet plantor har varierat mellan leden eftersom vissa plantor konkurrerats ut i krukorna och andra hade rötter som ruttnat när de skulle tas upp ur jorden. Anledningen till att rötterna ruttnade var att de tillförts för mycket vatten. Krukorna var gjorda så att jorden kunde dräneras från vatten men detta har inte hjälpt. I kommande försök är det viktigt att inte vattna för mycket och att det finns jämt antal plantor i krukorna. Ett ojämt antal plantor gör att resultatet inte blir statistiskt säkert.

4.1 Andra förebyggande åtgärder mot klumprotsjuka

Det finns en rad olika faktorer som påverkar utbrott av klumprotsjuka, och en av de viktigaste är vattentillgången i marken. Vattenhållande jordar som leror med inslag av mjåla anses vara de jordar som har störst risk för att drabbas. Humushalten i jorden har också visat sig påverka och humusfattiga jordar (<6 %) är de som drabbas mest (Wallenhammar, 1996).

En bra växtföljd är det enda sättet att undvika patogenen i områden med intensiv rapsodling. Man bör inte odla korsblommiga grödor för tätt i växtföljden. Det är viktigt att man även tänker på att ogräs kan uppföröka klumprotsjuka. Det gäller t.ex. lomme och åkersenap (Jordbruksverket, 2003) och att eventuella spillplantor bekämpas så fort som möjligt. Med tanke på att klumprotsjuka är en jordburen patogen finns det även stor risk

för att patogenen sprids med jord på maskiner och redskap mellan fält (Jonsson et al, 1993).

De senaste åren har vitsenap och oljerättika blivit populära fånggrödor i svensk växtodling eftersom de anses ha en sanerande effekt mot nematoder. Nackdelen med dem är att de också drabbas av klumprotsjuka (Lindström, 2010). I en växtföljd med raps bör fånggrödor i form av gräs användas (Wallenhammar, 2012).

5 Slutord

Den tydliga effekten av kvävegödsling på klumprotsjuka i detta växtkammarförsök visar att det är viktigt att komma ut tidigt med kvävet till oljeväxter, eftersom tidiga infektioner av patogenen ger störst skada. Men det krävs upprepade liknande resultat i fältförsök för att säkerställa betydelsen av gödsling. Allt som minskar utveckling av smitta av klumprotsjuka är värdefullt eftersom bekämpningsmetoder saknas och sporererna är långlivade i marken.

Valet av gödselmedel påverkade hämningen mindre än mängden kväve, och urea visade sig vara minst lika bra eller bättre än de andra gödselmedlen.

I den fortsatta forskningen är det viktigt med en bättre inblandning av sporer och kväve för att säkert upptäcka skillnader och jag föreslår att man studerar tidpunkten för kvävegödsling. Effekterna av kalkkväve behöver undersökas eftersom det verkar ha en toxisk effekt på vilsporererna. Det är inget vanligt gödselmedel idag men det hade varit intressant att se effekterna på klumprotsjuka med tanke på dess sanerande effekt och stora kalkverkan. Detta skulle då kunna göras i kombination med resistent sorter precis som Diederichsen, (2014) beskriver som en bra IPM-åtgärd.

6 Referenser

- Agrios, G.N. (2005). *Plant diseases caused by fungi*. I: Plant pathology. 5. ed. Elsevier Academic Press, s. 408.
- Anderson, L-E. (2001). *Kvävestrategi för vårraps*. Mellansvenska försökssamarbetet. Försöksrapport 2001, ss. 4-6.
- Broadbent, F.E, Hill, G.N & Tyler, K.B. (1958). *Transformations and movement of urea in soils*. Soil Science Society of America Journal. Vol. 22 nr. 4, ss. 303-307.
- Carlgren, K. (1991). *Skördeeffekter och pH-inverkan av fem kvävegödselmedel studerade i ett långliggande fältförsök*. Uppsala. Rapport - Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, avd. för växtnäringslära.
http://www.vaxteko.nu/html/sll/slu/rapport_vaxtnaringslara/RVN184/RVN184.HTM
- Canola council of Canada (2013). *About clubroot*.
http://archive.canola-council.org/clubroot/about_clubroot.aspx [2013-04-26].
- Diederichsen, E., Frauen, M. & Ludwig-Müller, J. (2014). *Clubroot disease management challenges from a German perspective*. Canadian Journal of Plant Pathology, 36:sup1, ss. 85-98
- Dixon, G.R (2009). *Plasmodiophora brassicae in it's environment*. Journal of Plant Growth Regulation (2009) 28 ss. 212-228.
- Dixon, G.R (2010). *Calcium and pH as Parts of a Coherent Control Strategy for Clubroot Disease (Plasmodiophora brassicae)*, ss. 151-155.
- Elvingson, P. & Ågren, C. (1998). *Luftföroreningar och förurning. Internationella förurningssekretariatet*. Göteborg. ISBN:9155877575
- Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, I. & Simonsson, M. (2011). *Marklära* 1st edition. Studentlitteratur 2011.
- Gijsman, A.J. (1990). *Nitrogen nutrition of Douglas-fir (Pseudotsuga menziesii) on strongly acid sandy soil*, Plant and Soil 126, 63-70.

Grandin, U. (2003). *Dataanalys och hypotesprövning för statistikanvändare*. Institutionen för miljöanalys, Sveriges lantbruksuniversitet.

Greppa näringen (2011-04-11). *Ureagödsling ökar ammoniakutsläppen*.
<http://www.xn--greppanringen-hfb.se/omgreppa/omwebbplatsen/artikelarkiv/aldreartiklar/nyhetsarkiv/nyhetsarkivet2006/ureagodslingokarammoniakutslappen.5.78be32b411dd24541d28000537879.html> [2013-04-25].

Gunnarsson, A. (2011). *Mer N på hösten och mindre på våren*, Svensk frötidning, nr 2, ss. 12-14.

<http://www.svenskraps.se/kunskap/pdf/01378.pdf>

Flodman, M. (2002) *Air emissions of methane, nitrous oxide and ammonia when storing dewatered sewage sludge*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för lantbruksteknik. (Examensarbete institutionsmeddelande 2002:04).

Hardy, D.H. (2008). *Effect of fertilizer salts on soil pH*. North Carolina, NCDA&CS Agronomic Division.

<http://www.ncagr.gov/agronomi/pdf/files/fsalts.pdf>

Hirai, M. (2006). *Genetic analysis of clubroot resistance in Brassica crops*. Breeding science. 56. ss. 223-229.

Huber, D., Datnoff, L., Elmer, W. (2007) *Mineral nutrition and plant disease*. APS Press, ss. 278. St. Paul, MN.

Jonsson, B., Engqvist, G., Happstadius, I (1993). *Klumprotsjuka - resistensförädling i raps och rybs*. Växtskyddsnotiser nr 4.

Jordbruksverket (2003). *Växtföljd i ekologisk grönsaksodling*, Jönköping: Jordbruksverket [Broschyr].

http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_ovrigt/p7_7.pdf

Jordbruksverket (2013). *Riktlinjer för gödsling och kalkning*, [Elektronisk] Jönköping (Jordbruksinformation 12-2012)

http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_jo/jo12_12.pdf

Karling, J. S. (1942) *The Plasmodiophorales*, 1 st edition. New York City. ss.144.

Karltun, E. (1996). *Markkemiska analyser inom ståndortskarteringen – metodbeskrivningar*.

<http://www-sml.slu.se/sk/analyinf.pdf> [2013-04-27].

Klasse, HJ. (1996). *Calcium Cyanamide - an effective tool to control clubroot – a review*. Acta Hort. (ISHS) 407: ss. 403-410.

Larsson, G. (2004). *Höstrybs – sorter*.

http://www.svenskraps.se/kunskap/pdf/rapport_text_flerar_2000-04_Hostrybs-sort.pdf

Lindström, S. (2010). *Fröblandningar för den biologiska mångfalden i slättlandskapet*. Hushållningssällskapet Kristianstad.

Linnér, H. (1978). *Vatten- och kvävehushållning vid bevattning av en sandjord*. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för mark och miljö, Uppsala. Rapport 113.

Macfarlane, I. (1958). *A solution-culture technique for obtaining roothair or primary infection by Plasmodiophora brassicae*.

Microbiology vol. 18 nr 3. ss. 720–732.

Murakami, H., Tsushima, S., Kuroyanagi, Y., Shishido, Y. (2002)

Reduction of resting spore density of Plasmodiophora brassicae and clubroot disease severity by liming. Soil Science and Plant Nutrition, 48:5, ss. 685-691.

Naiki, T., Dixon, G.R. (1987). *The effects of chemicals on developmental stages of Plasmodiophora brassicae*. Plant pathology, 36. ss. 316-327.

Narisawa, K., Shimura, M., Usuki, F., Fukuhara, S., Hashiba, T. (2005)

Effects of pathogen density, soil moisture, and soil pH on biological control of clubroot in Chinese cabbage by Heteroconium chaetospora. 89:3, ss. 285-290.

Nömmik, H. (1966). *Kvävegödselmedlens inverkan på markens pH*. Växt-Näringsnytt 22:3 ss. 14-19.

Persson, J. (2003). *Kväveförluster och kvävehushållning,*

förbättringsmöjligheter i praktiskt jordbruk - Kortsiktiga och långsiktiga markbiologiska processer med speciell hänsyn till kvävet. Sveriges

Lantbruksuniversitet Uppsala, Institutionen för markvetenskap, Rapport 207.

Sanfridsson, A-C. (2005). *Kväveomsättning i gräsmark med olika artantal och artsammansättning*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap (Examensarbete 2005).
http://exepsilon.slu.se:8080/archive/00000458/01/Kv%C3%A4veoms%C3%A4ttning_i_gr%C3%A4smark_med_olika_artantal_och_artsammans%C3%A4ttningar.pdf

Stewart, K. (2008) *Conventional and Novel Treatments for Control of Clubroot Disease of Brassicas*. Ph.D. The University of Edinburgh.
<https://www.era.lib.ed.ac.uk/handle/1842/4354>

Svensk raps AB (2013). *Oljevästareal 2012*.
http://www.svenskraps.se/oljevaxt/arealer_oljevaxter_2012.asp

Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). (2013-02-11). *Biological Soil Mapping (BioSoM)*. <http://www.slu.se/mark/biosom> [2013-09-05].

Wallenhammar, A-C. (1996). *Prevalence of Plasmodiophora brassicae in a spring oilseed rape growing area in central Sweden and factors influencing soil infestation levels*: Plant pathology 45. ss. 710-719.

Wallenhammar, A-C. (1998). *Observations on yield loss from Plasmodiophora brassicae infections in spring oilseed rape*, Zeitschrift für Pflanzenkrankheit und Pflanzenschutz 105, ss. 1–7.

Wallenhammar, A-C., Johnson, L., Gerhardson, B. (2000). *Agronomic properties of partly clubroot-resistant spring oilseed turnip rape lines*. Journal of Phytopathology 148, ss. 495–499.

Wallenhammar, A-C. (2000). *Klumprotsjuka i våroljeväxter – analys, varaktighet och bekämpning*. Jordbrukskonferensen 2000, SLU, ss. 192-193.

Wallenhammar, A-C. (2012). *Konsten att hantera klumprotsjuka*, Svensk frötidning, nr 3, ss. 11-14.
<http://www.svenskraps.se/kunskap/pdf/01494.pdf>

Wallenhammar, A-C., Almquist, C., Söderström, M., Jonsson, A. (2012). *In field distribution of Plasmodiophora brassicae measured using quantitative real-time PCR*. Plant pathology, vol. 61, februari 2012, ss.16-28.

Wang, W-H., Liu, G-W., Cao, F-Q., Cheng, X-Y., Liu, B-W., Liu, L-H. (2013). *Inadequate root uptake may represent a major component limiting rice to use urea as sole nitrogen source for growth*: Plant and soil, vol. 363, issue 1-2, ss. 191-200.

Webster, M.A. & Dixon, G.R. (1991). *Calcium, pH and inoculum concentration influencing colonization by Plasmodiophora brassicae*. Mycological Research. vol. 95, januari 1991, ss. 64–73.

Yngveson, N. (2001). *Kvävegödsling till höstraps*, Svensk frötidning, nr 9, ss.7-10.
<http://www.svenskraps.se/kunskap/pdf/00172.pdf>